

高浜発電所 4 号機の原子炉起動と調整運転の開始について (第 20 回定期検査)

このことについて、関西電力株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

記

高浜発電所 4 号機（加圧水型軽水炉；定格電気出力 87.0 万 kW）は、平成 23 年 7 月 21 日から第 20 回定期検査を実施しているが、平成 28 年 2 月 26 日に原子炉を起動し、翌 27 日に臨界となる予定である。

その後は、諸試験を実施し、2 月 29 日頃に定期検査の最終段階である調整運転を開始し、3 月下旬には原子力規制委員会の最終検査を受けて営業運転を再開する予定である。

1 主要工事等

(1) 原子炉冷却系統設備小口径配管他取替工事 (図－1 参照)

国外 PWR プラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、一次冷却材の流れのない配管（高温環境で溶存酸素濃度が高い）の溶接部について、計画的に対策工事*¹を実施しており、今回は、余熱除去系統 1 箇所および化学体積制御系統 4 箇所について、耐食性に優れた材料に取り替えた。また、取替え時の作業性を考慮し、対象箇所周辺の弁や配管の一部を取り替えた。

* 1 応力集中の小さい溶接形状への変更と耐食性に優れた材料への変更

(2) 一次系強加工曲げ配管取替工事 (図－2 参照)

国外 BWR プラントにおいて、芯金を使用して曲げ加工した配管の内面で応力腐食割れが発生した事象を踏まえ、予防保全として、一次冷却材系統につながる曲げ配管のうち、芯金を使用して曲げ加工したものを、芯金を使用せずに曲げ加工した配管等に取り替えた。また、取替え時の作業性を考慮し、対象箇所周辺の弁や配管の一部を取り替えた。

(3) 一次冷却材ポンプ電源監視回路改造工事 (図－3 参照)

一次冷却材ポンプ駆動用電源の電圧および周波数の低下を監視する装置の電源が喪失した状態で運転することを防止するため、監視装置の電源が喪失した場合には、中央制御室に警報を発報するとともに、「電源電圧低」および「電源周波数低」の信号を発信する回路構成に変更した。

* 2 敦賀発電所 2 号機で、一次冷却材ポンプ駆動用電源の監視装置の電源が喪失した状態で運転した事象を踏まえ、平成 22 年 5 月、原子力安全・保安院は、事業者に対し監視装置の電源が喪失した場合に中央制御室に警報を発報する等の設備改善を行うよう指示した。

(4) 600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れに係る予防保全工事

(図-4参照)

国内外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、予防保全対策として、600系ニッケル基合金が使用されている原子炉容器出入口管台溶接部について、溶接部内面全周を研削した後、耐食性に優れた690系ニッケル基合金で溶接を行った。

(5) 原子炉容器供用期間中検査

(図-5参照)

原子炉容器の供用期間中検査として、原子炉容器溶接部等の超音波探傷検査を行い、健全性を確認した。

2 設備の保全対策

(1) 二次系配管の点検等

(図-6参照)

関西電力㈱の定めた「二次系配管肉厚の管理指針」に基づき、二次系配管682箇所について超音波検査(肉厚測定)を実施した。その結果、必要最小厚さを下回る箇所および次回定期検査までに必要最小厚さを下回る可能性があるとして評価された箇所はなかった。

また、過去の点検において減肉が確認された部位1箇所、今後の保守作業を考慮した部位19箇所、合計20箇所を耐食性に優れたステンレス鋼もしくは低合金鋼の配管に取り替えた。

3 蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果

(図-7参照)

3台ある蒸気発生器(SG)の伝熱管全数(既施栓管を除く計9,756本)について、渦流探傷検査を実施した結果、B-SGの伝熱管1本およびC-SGの伝熱管1本の高温側管板部(合計2本)で、有意な欠陥信号が認められた。

原因は、過去の調査から蒸気発生器製作時に伝熱管を管板部で拡管する際に発生した引張り残留応力と、運転時の内圧とが相まって、伝熱管内面で応力腐食割れが発生・進展したものと推定された。

対策として、当該伝熱管を使用しないこととし、閉止栓(機械式栓)を施工した。
[平成23年8月18日、26日公表済]

4 燃料集合体の取替え

(図-8参照)

燃料集合体全数157体のうち、89体を取り替えた。今回装荷した新燃料集合体は68体(うち4体はMOX燃料)である。

燃料集合体の外観検査(12体)を実施した結果、異常は認められなかった。

5 福島第一原子力発電所事故を踏まえた安全性向上対策工事

福島第一原子力発電所事故を踏まえ、新規制基準対応工事等を含む安全性向上対策工事を実施した。

(1) 新規制基準対応工事（主な工事）

（表－1 参照）

① 設計基準への対策

（図－9 参照）

基準地震動の見直し（550→700 ガル）に伴い、使用済燃料ピットクレーン等の設備や一次冷却材系統等の配管について、耐震補強工事を実施した。

津波対策として、取水路防潮ゲートおよび放水口側防潮堤等を設置した。

竜巻対策として、安全上重要な屋外設備の健全性を維持するため、飛来物の衝突に対する防護対策として、海水ポンプエリアへの鋼板、ネットの設置等を行った。

火災防護対策として、地震等により既存の消火水系統が使用できない場合を想定して、基準地震動（700 ガル）に対応する新たな消火水バックアップタンク、ポンプ等を設置した。

② 重大事故への対策

○ 電源の確保

（交流電源）

（図－10 参照）

外部電源が喪失して非常用ディーゼル発電機が起動しない場合の代替電源として空冷式非常用発電装置（2台）を設置するとともに、中央制御室から遠隔起動できるよう設備を改造した。

空冷式非常用発電装置からの電源供給等が期待できない場合を想定し、電源車（3台、うち1台は3、4号機共用の予備）を配備するとともに、原子炉補助建屋側面に接続口（2箇所）を設置し、電源車からの電力ケーブルを接続することで蓄電池や計器用電源等への電源供給を可能とした。

また、既存の所内電気設備が使用できない場合を想定して、空冷式非常用発電装置から恒設代替低圧注水ポンプ等の重要機器に直接給電を可能にするため、代替所内電気設備（高圧分岐盤、分電盤、補機切替盤等）を設置した。

（直流電源）

（図－11 参照）

全交流電源喪失時においても原子炉の冷却に必要な弁の操作や監視計器等に必要な電源を24時間以上供給可能とするため、安全系蓄電池（2系統）の容量の増強を行うとともに、当該蓄電池の負荷切り離しのための遠隔操作スイッチを中央制御室に設置した。

さらに、これら直流電源系統が機能喪失した場合を想定して、加圧器逃がし弁を作動させるための電磁弁に直流電源を供給するための専用の可搬式バッテリーを配備した。

○ 冷却機能の確保

(炉心・格納容器の冷却)

(図-12 参照)

原子炉や格納容器を冷却する既存の設備（充てん／高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ、格納容器スプレイポンプ等）が機能喪失した場合を想定して、恒設代替低圧注水ポンプ（1台）および専用電源を備えた可搬式代替低圧注水ポンプ（3台、うち1台は3、4号機共用の予備）を配備した。

また、原子炉補機冷却水系統が使用できない場合において、既存の充てん／高圧注入ポンプ、格納容器スプレイポンプを使用できるようにするため、それぞれ各1台について、ポンプにより吐出した冷却水を用いてモータ等を冷却するための配管（自己冷却配管）を設置した。

海水ポンプが機能喪失した場合等の格納容器の除熱機能の代替手段として、大容量ポンプ（3台／3、4号機共用、うち1台は予備）を配備した。

(水源)

原子炉や格納容器を冷却するための水源である燃料取替用水タンクに、純水タンクやほう酸タンクから補給ができない場合を想定して、通常は蒸気発生器を冷却する水源として使用する復水タンクから補給できるようにするための移送配管等を設置した。

(2) 自主的対応工事等

(図-13 参照)

① 使用済燃料ピットの監視強化

使用済燃料ピットの監視強化のため、広域水位計（電波式）を増設するとともに、監視カメラを設置した。

② 外部電源受電設備の浸水対策

予備変圧器から安全系母線の給電ルート上に設けられているバスダクトをケーブルに取り替えるとともに、ケーブル接続部の防水処理を行った。

③ 代替水源の確保

消火水バックアップタンク等に替わる水源確保の観点から、3、4号機背後斜面の湧水排出トンネル内に湧水を堰き止めて淡水貯水槽を設置し、3、4号機共用の水源とした。

④ 非常用炉心冷却系統の支持構造物等の点検

(図-14 参照)

非常用炉心冷却系統に設置されている耐震サポートなどの支持構造物や屋内外タンクの基礎ボルト等について、取り付け状況等に異常のないことを確認した。

6 次回定期検査の予定

平成 29 年 春頃

7 定期検査中に発生した安全協定に基づく異常事象

(1) 「一次系床ドレン注意」警報の発信について

(図-15 参照)

2月20日15時42分頃、一次冷却材系統の昇温に向け、化学体積制御系統の水をほう素熱再生系統に通水した際、「一次系床ドレン注意」警報が発信した。このため、現場を確認したところ、原子炉補助建屋の脱塩塔室前の床面に水溜まりを確認した。

原因は、B-冷却材脱塩塔の入口側弁の一部のボルトに適正な締付トルクがかかっていなかったことから、通水操作による系統の圧力の一時的な上昇に伴い、当該弁から漏えいが発生したものと推定された。

対策として、当該弁のダイヤフラムシートを新品に取替えるとともに、一次冷却材が流れる系統の同種の弁（弁駆動軸が水平方向の弁）について、適正に締付けられていることを確認した。また、圧力変動の影響が少なくなるよう、化学体積制御系統の抽出水の圧力が低い状態でほう素熱再生系統に通水することとし、運転操作所則に反映した。

なお、本事象による周辺環境への影響はなかった。

[平成28年2月20日、22日 公表済]

以上

表－1 主な新規規制基準対応（設備、対策工事）

① 設計基準への対策（設備、対策工事）

地震対策		<ul style="list-style-type: none"> 耐震補強工事 斜面崩落対策工事
津波対策		<ul style="list-style-type: none"> 放水口側防潮堤 取水路防潮ゲート 自然現象監視カメラ、潮位計
その他自然現象等	竜巻対策	<ul style="list-style-type: none"> 飛来物防護壁、防護ネット
	外部火災	<ul style="list-style-type: none"> 防火帯
火災防護対策		<ul style="list-style-type: none"> 消火水バックアップタンク、ポンプ
内部溢水対策		<ul style="list-style-type: none"> 配管逆流防止弁 貯留堰堤 等

② 重大事故への対策（設備）

電源確保対策		<ul style="list-style-type: none"> 空冷式非常用発電装置、遠隔起動操作盤 可搬型代替電源（電源車） 蓄電池の増強、遠隔負荷停止操作盤 加圧器逃し弁用可搬式バッテリー 代替所内電気設備（高圧分岐盤、分電盤）等
冷却設備対策	炉心・格納容器の冷却	<ul style="list-style-type: none"> 代替注水設備（恒設・可搬式代替低圧注水ポンプ、ポンプ用電源車） 既設注水設備への自己冷却配管 大容量ポンプ 等
	溶融炉心の冷却	<ul style="list-style-type: none"> 代替注水設備（可搬式代替低圧注水ポンプ、ポンプ用電源車）
	使用済燃料ピットの冷却	<ul style="list-style-type: none"> 可搬式代替注水設備（消防ポンプ） 可搬式スプレー設備（可搬式代替低圧注水ポンプ、ポンプ用電源車） スプレーヘッダ 放水砲、放水砲用大容量ポンプ
	水源の確保	<ul style="list-style-type: none"> 冷却水移送配管 等
	最終ヒートシンクへの熱輸送	<ul style="list-style-type: none"> 大容量ポンプ
水素爆発による格納容器破損防止対策		<ul style="list-style-type: none"> 電気式水素燃焼装置 静的触媒式水素再結合装置
放射性物質拡散防止抑制対策		<ul style="list-style-type: none"> 放水砲、放水砲用大容量ポンプ シルトフェンス
対策の指揮を行う設備		<ul style="list-style-type: none"> 緊急時対策所
その他		<ul style="list-style-type: none"> 衛星通信設備 可搬型モニタリングポスト 等

図-1 原子炉冷却系統設備小口径配管他取替工事

【工事概要】

国外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、一次冷却材の流れのない配管（高温環境で溶存酸素濃度が高い）の溶接部について、計画的に対策工事*1を実施しており、今回は、余熱除去系統1箇所および化学体積制御系統4箇所について耐食性に優れた材料に取り替えた。また、取替え時の作業性を考慮し、対象箇所周辺の弁や配管の一部を取り替えた。

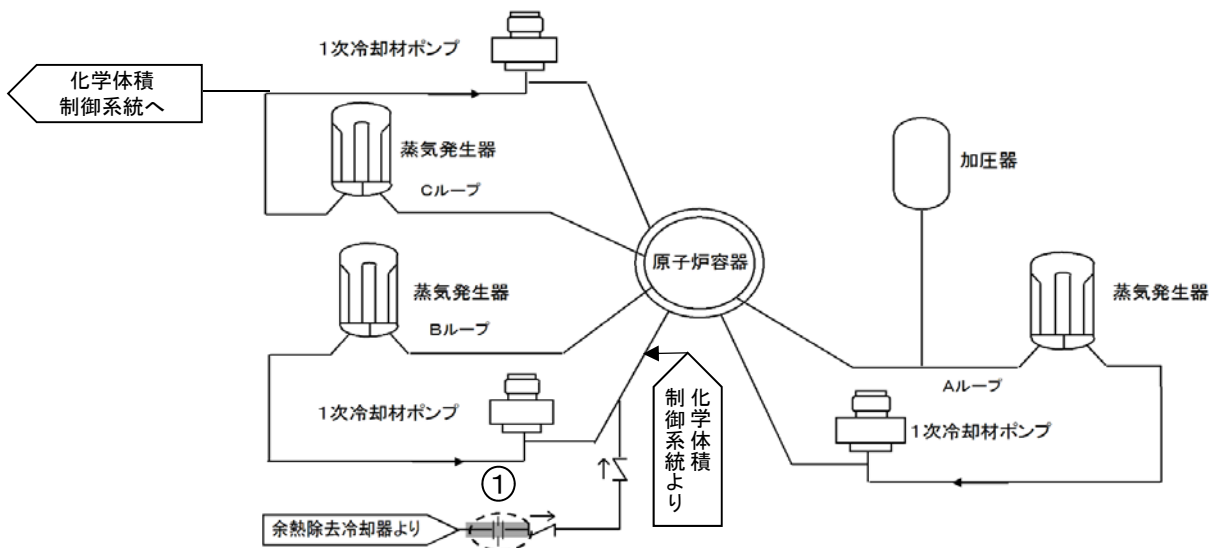
* 1 応力集中の小さい溶接形状への変更と耐食性に優れた材料への変更

系統名	箇所数	図中番号
余熱除去系統	1	①
化学体積制御系統	4	②

取替範囲概略図

【原子炉冷却系統】

■ : 取替範囲
 ○ : 感受性が高いと考えられる部位



【化学体積制御系統】

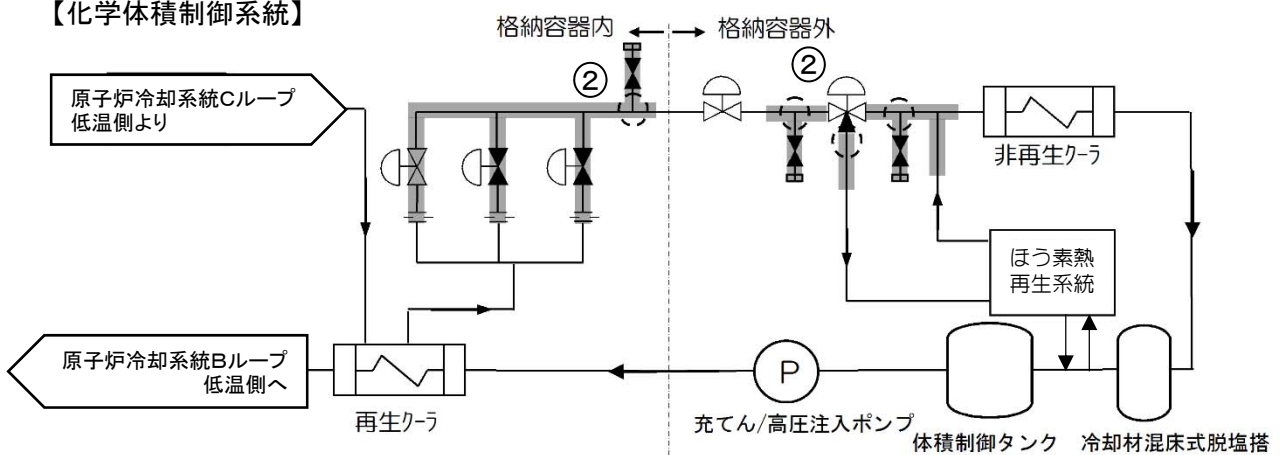
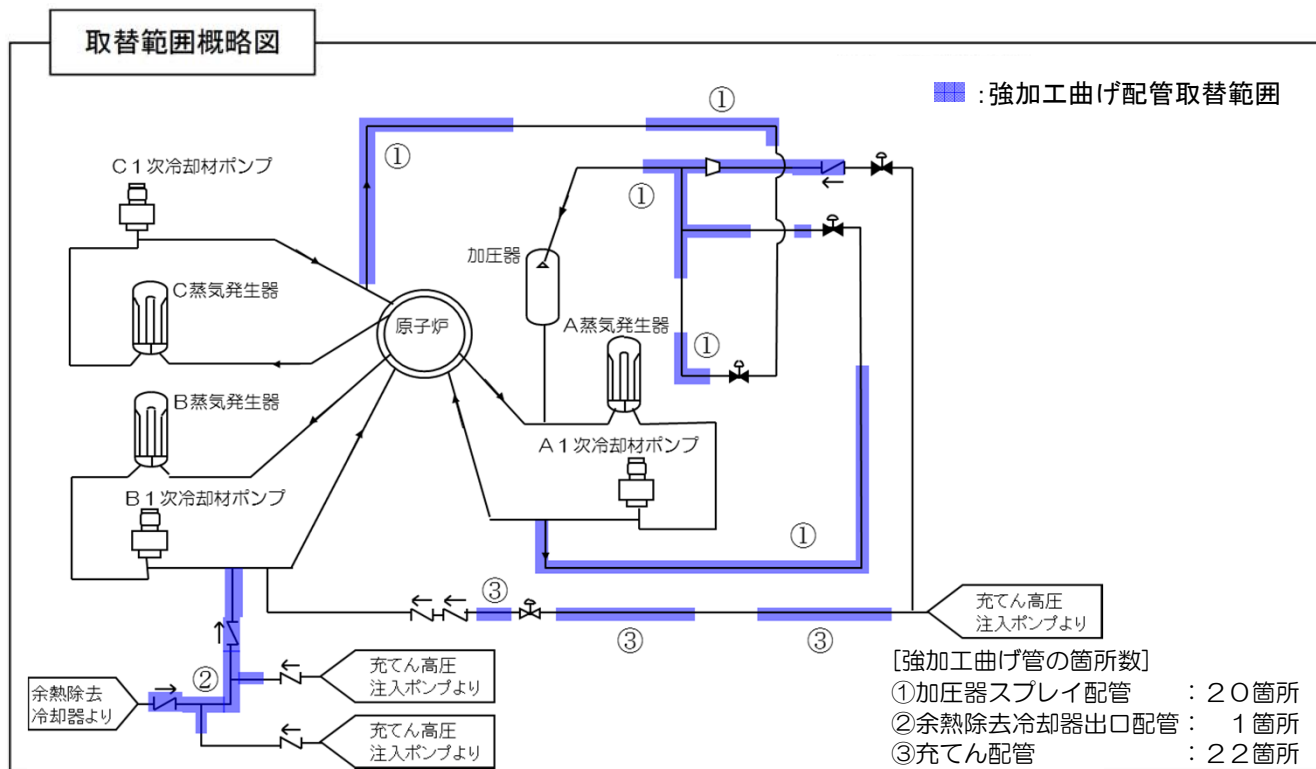


図-2 一次系強加工曲げ配管取替工事

【工事概要】

国外BWRプラントにおいて、芯金を使用して曲げ加工した配管の内面で応力腐食割れが発生した事象を踏まえ、予防保全として、一次冷却材系統につながる曲げ配管のうち、芯金を使用して曲げ加工したものを、芯金を使用せずに曲げ加工した配管等に取り替えた。



工事概略図（曲げ加工方法）

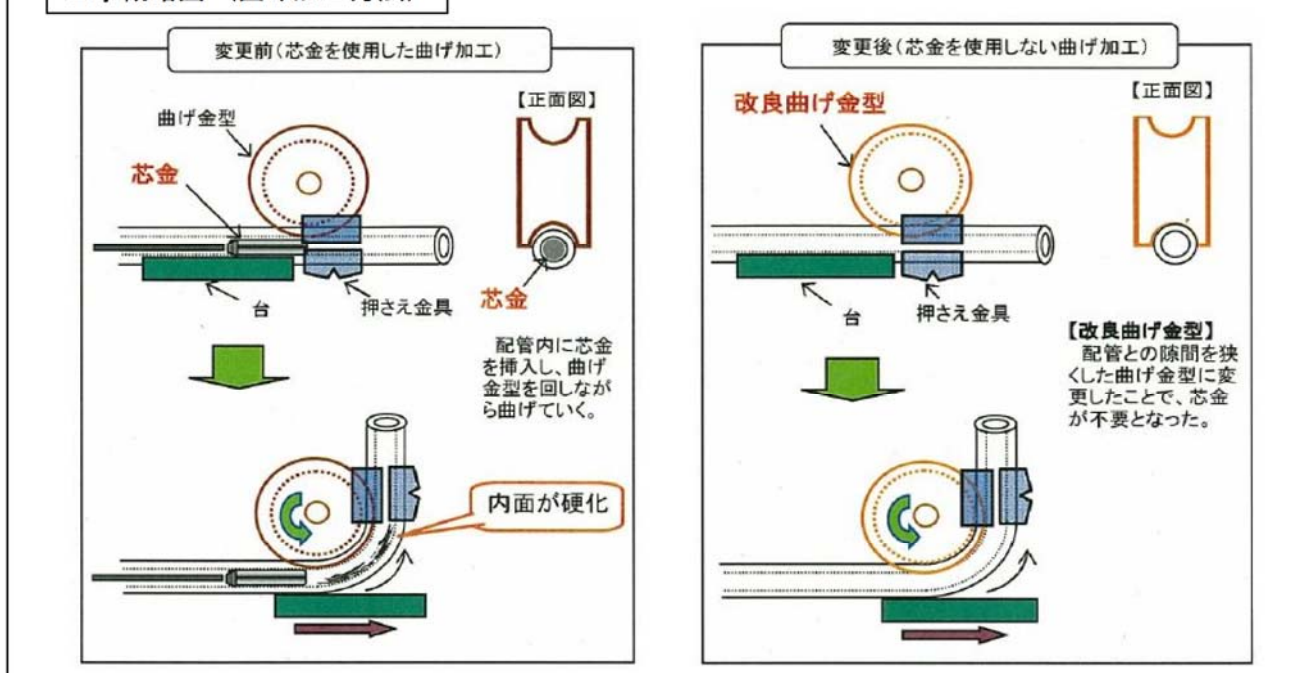


図-3 一次冷却材ポンプ電源監視回路改造工事

【工事概要】

一次冷却材ポンプ駆動用電源の電圧および周波数の低下を監視する装置の電源が喪失した状態で運転することを防止するため、監視装置の電源が喪失した場合には中央制御室に警報を発報するとともに、「電源電圧低」および「電源周波数低」の信号を発信する回路構成に変更した。

一次冷却材ポンプ電源監視回路概要図

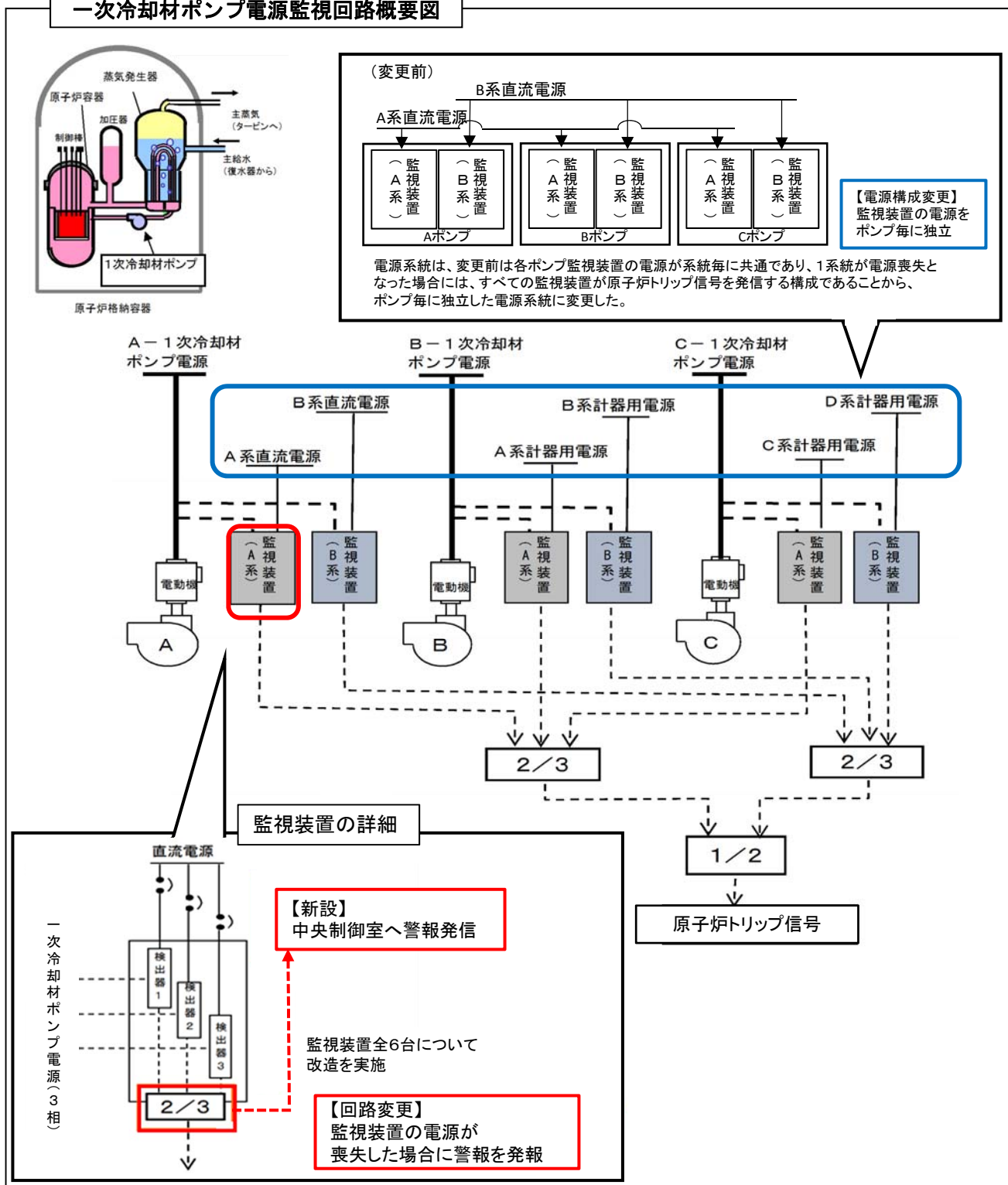


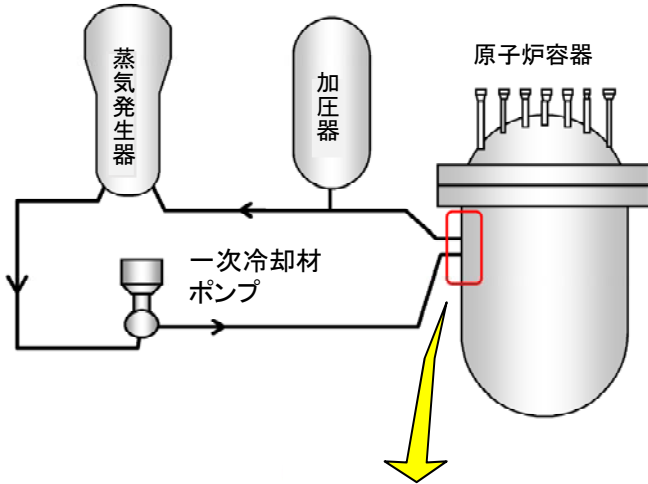
図-4 600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れに係る予防保全工事

【工事概要】

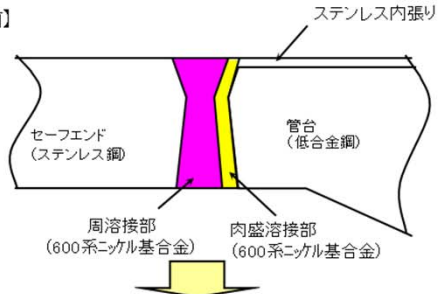
国内外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、予防保全対策として600系ニッケル基合金が使用されている原子炉容器出入口管台溶接部について、溶接部内面全周を研削した後、耐食性に優れた690系ニッケル基合金で溶接を行った。

【系統概要図】

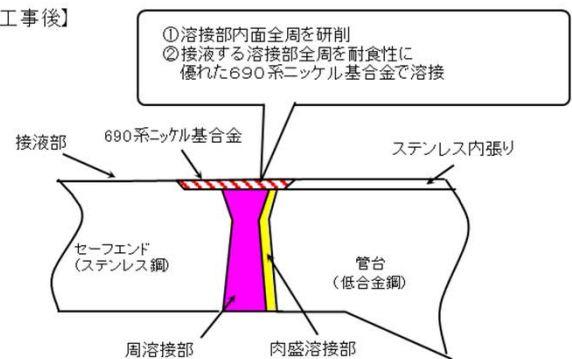
□ : 690系ニッケル基合金溶接



【工事前】



【工事後】



原子炉容器出入口管台
(原子炉容器出入口管台: 6箇所)

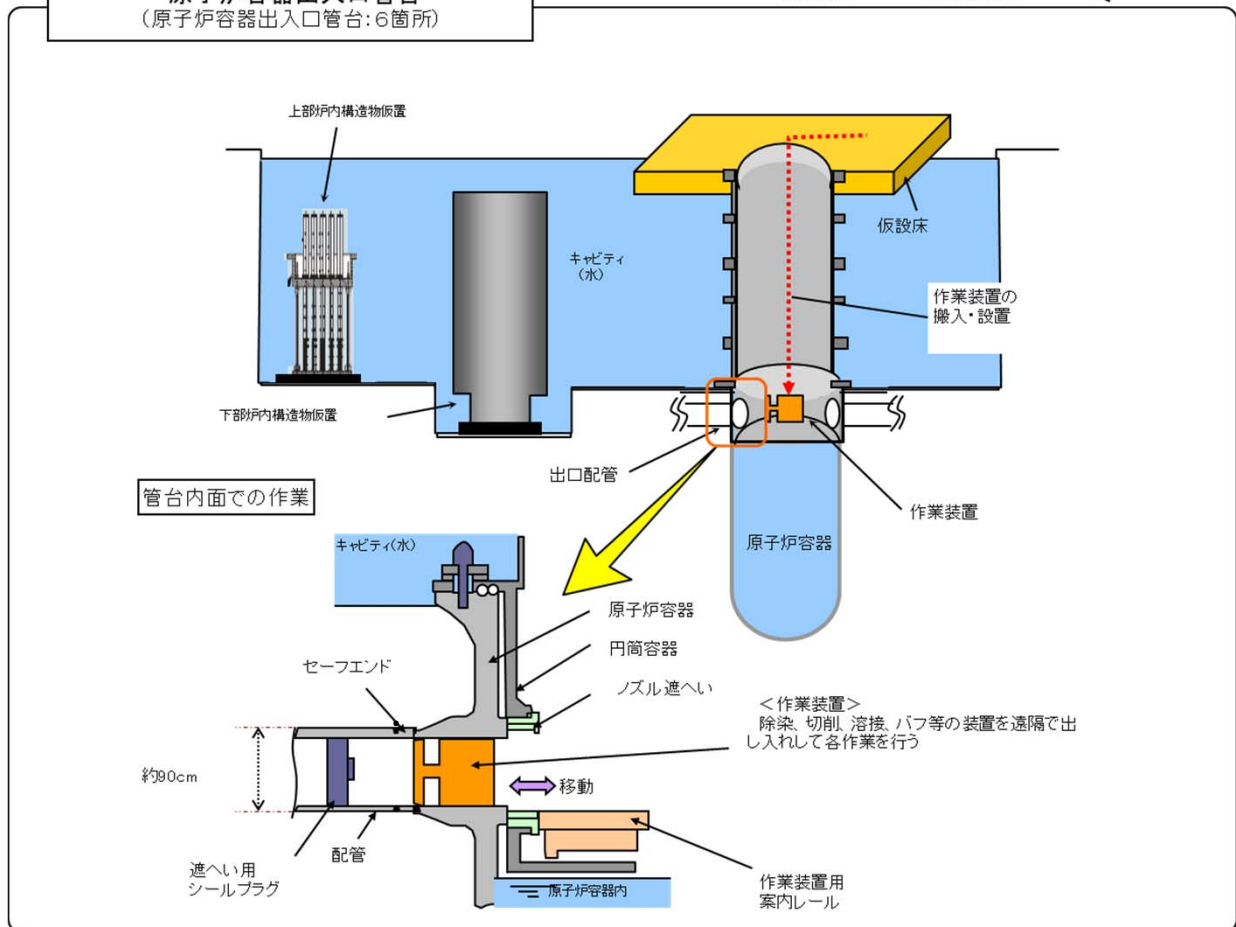


図-5 原子炉容器供用期間中検査

【検査概要】

原子炉容器の供用期間中検査として、原子炉容器溶接部等の超音波探傷検査を行い、健全性を確認した。

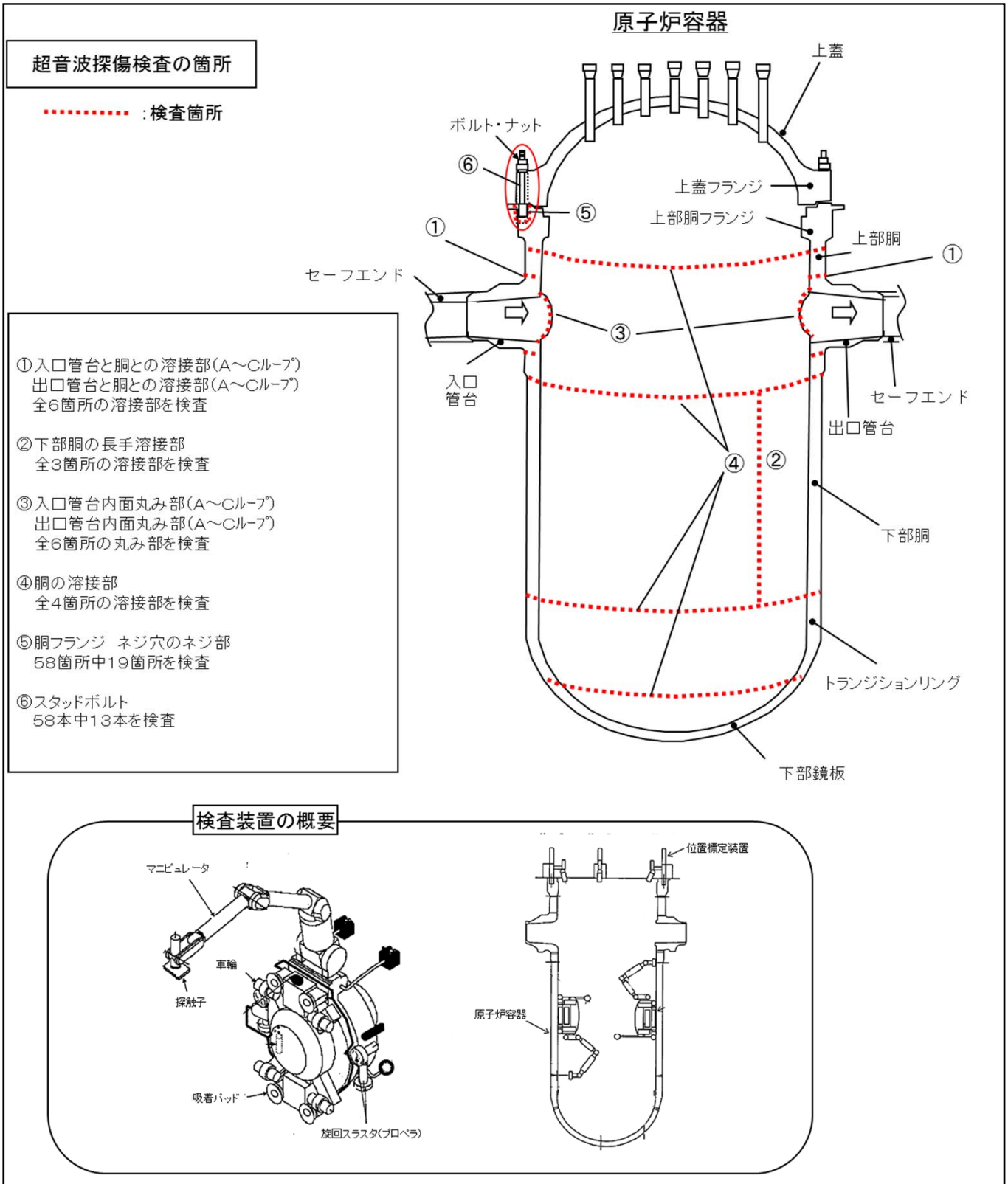


図-6 二次系配管の点検等

点検概要

今定期検査において、682箇所について超音波検査(肉厚測定)を実施した。

○二次系配管肉厚の管理指針に基づく超音波検査(肉厚測定)部位

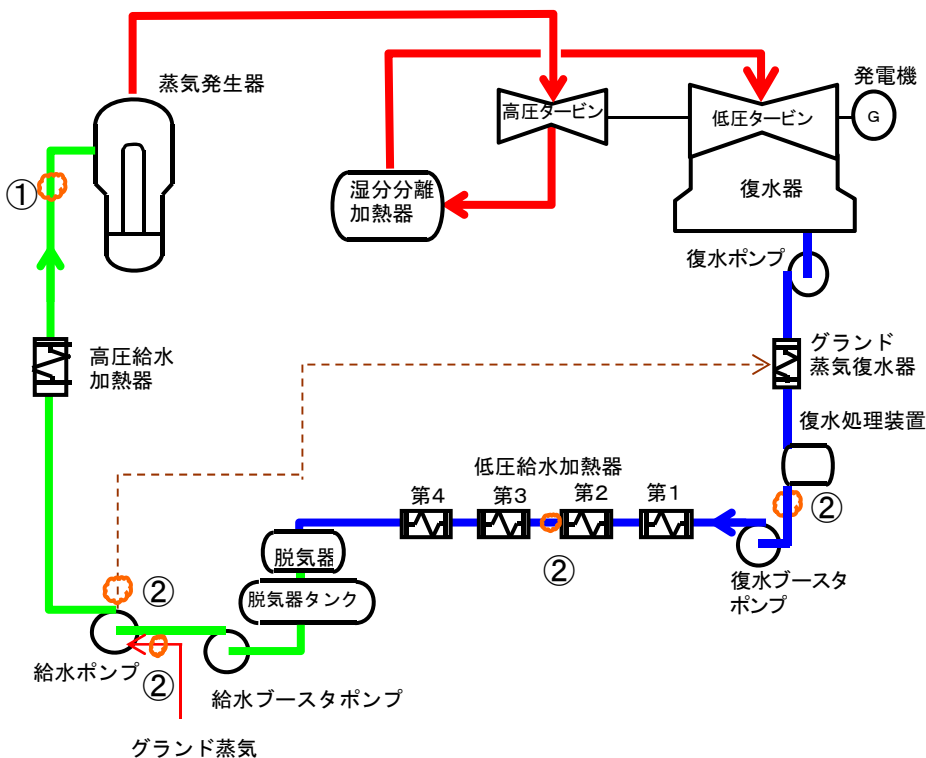
	「2次系配管肉厚の管理指針」の点検対象部位	今回点検実施部位
主要点検部位	1,803	464
その他部位	1,131	218
合計	2,934	682

検査結果: 必要最小厚さを下回る箇所および次回定期検査までに必要最小厚さを下回る可能性があるとして評価された箇所はなかった。

取替概要

過去の点検で減肉が確認された部位1箇所、今後の保守性を考慮した部位19箇所、合計20箇所を耐食性に優れたステンレス鋼または低合金鋼の配管に取り替えた。

概要図



— : 主蒸気系統
— : 給水系統
— : 復水系統
- - - : ドレン系統
 : 主な配管取替箇所

- ① 過去の点検結果で減肉が認められているため、計画的に取り替えた箇所(1箇所)
- ・必要最小厚さとなるまでの期間が5年以上の箇所(1箇所)
 - 炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 1箇所
- ② 配管の保守性*を考慮して取り替えた箇所(19箇所)
- 炭素鋼 ⇒ ステンレス鋼 18箇所
 - 炭素鋼 ⇒ 低合金鋼 1箇所
- 合計 20箇所

* 狭隘部で肉厚測定がしづらい小口径配管などについて取り替えた。

図-7 蒸気発生器伝熱管の損傷について

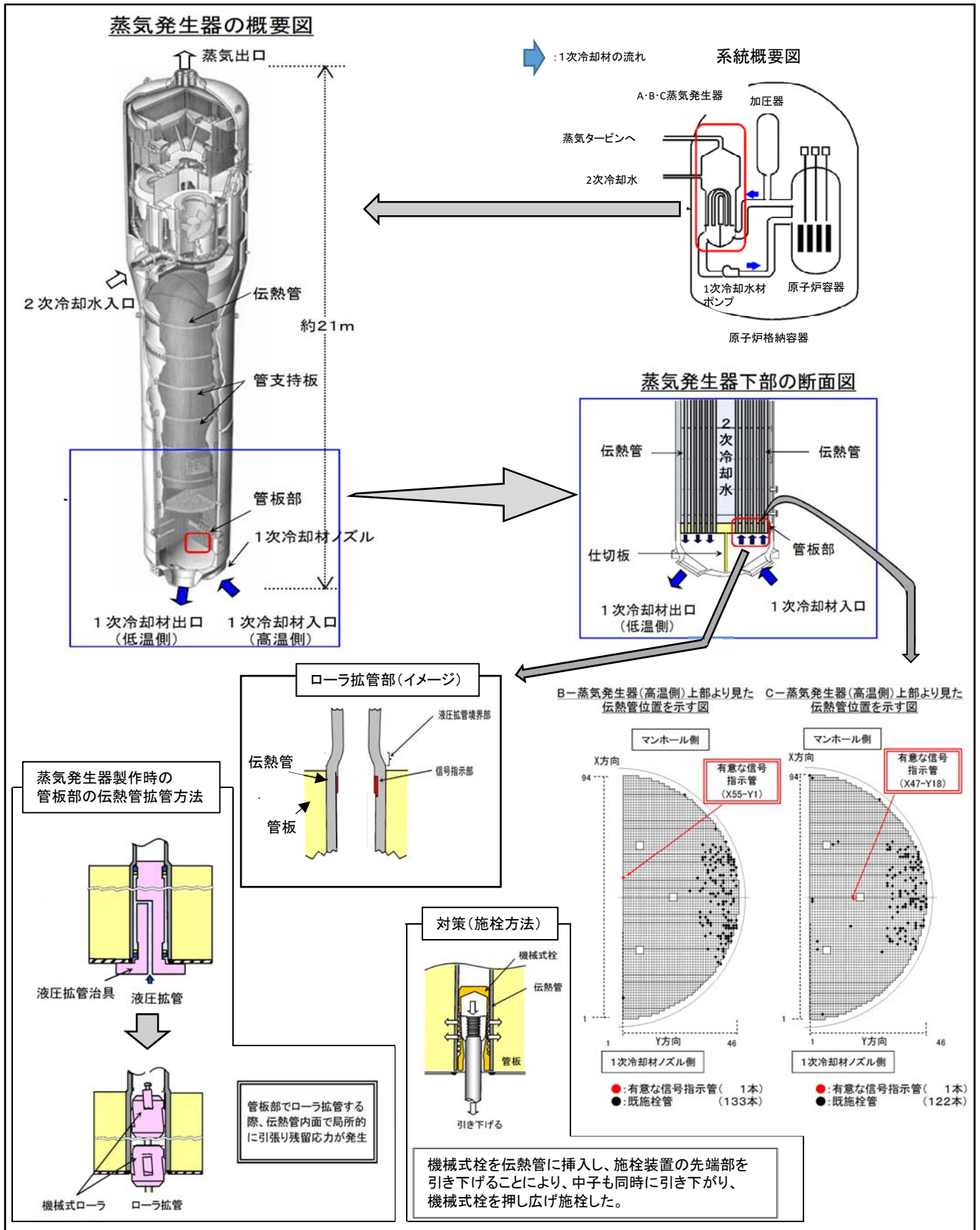


図-8 MOX燃料の概要

使用済燃料を再処理して得られるプルトニウムを利用したウラン・プルトニウム混合酸化物燃料 (MOX燃料) を取替燃料の一部として使用した。

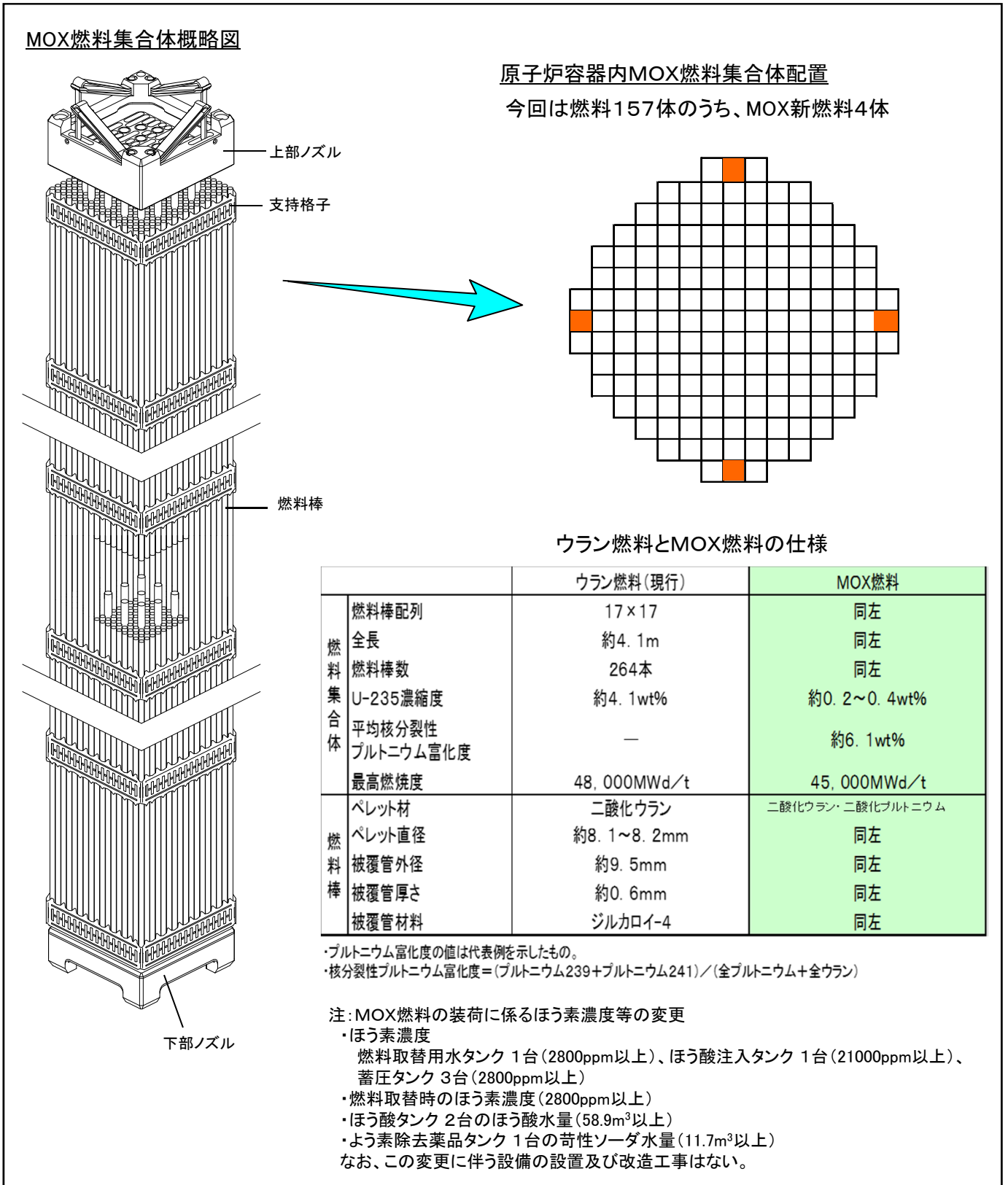


図-9 設計基準対策（その1）

【工事概要】

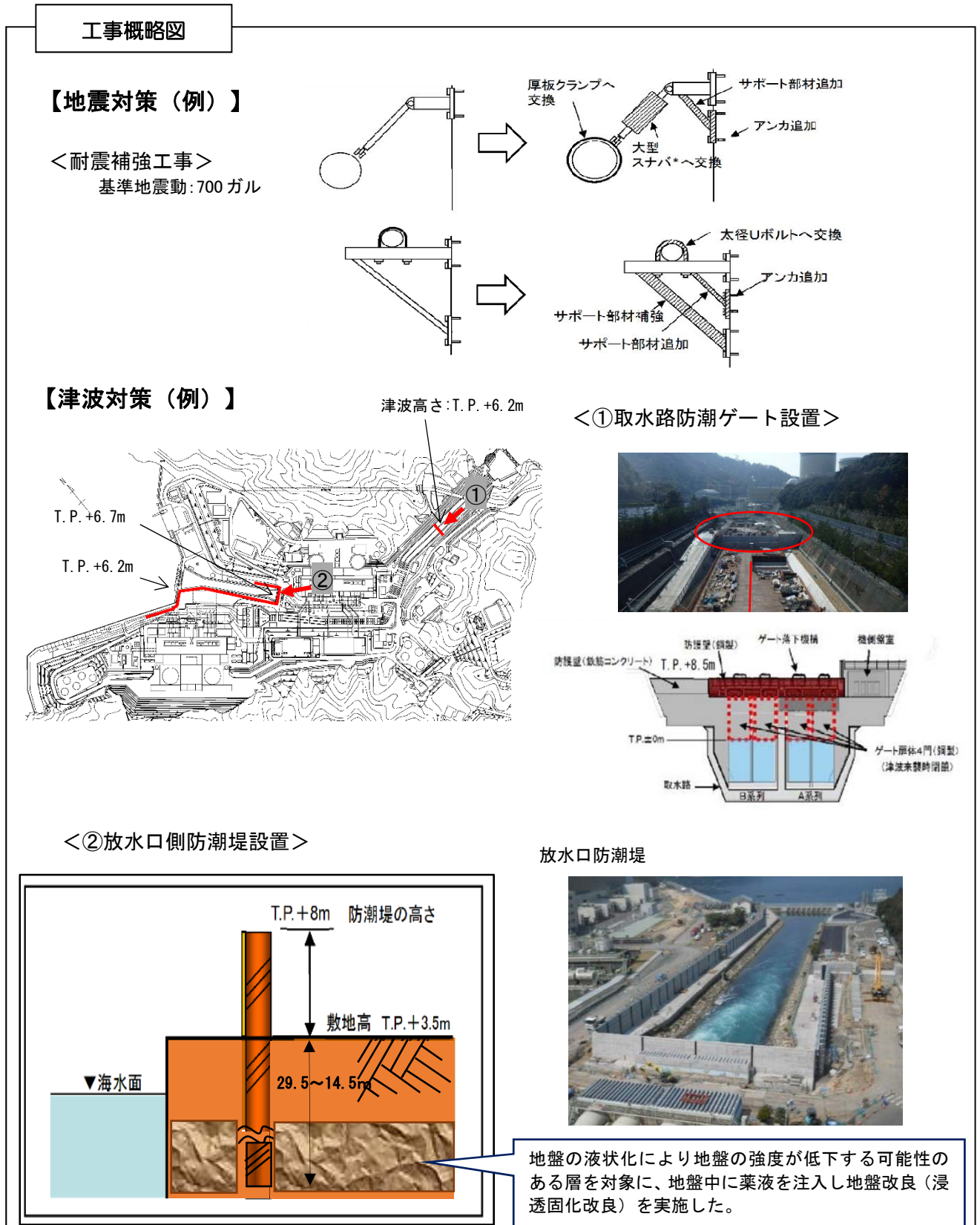
設計基準対応工事として、地震対策、津波対策、その他自然現象（竜巻対策、外部火災）火災防護対策、内部溢水対策等を実施した。

例)

地震対策：耐震補強工事、斜面崩落対策工事

津波対策：放水口側防潮堤設置、取水路防潮ゲート設置、自然現象監視カメラ、潮位計設置

[下線の対策を下記工事概要図に示す]



図－9 設計基準対策（その2）

【工事概要】

設計基準対応工事として、地震対策、津波対策、その他自然現象（竜巻対策、外部火災）火災防護対策、内部溢水対策等を実施した。

例)

その他自然災害：（竜巻対策）飛来物防護壁設置、防護ネット設置
（外部火災）防火帯設置

火災防護対策：消火水バックアップタンク設置、ポンプ設置

内部溢水対策：配管逆流防止対策工事、貯留堰堤設置

[下線の対策を下記工事概要図に示す]

工事概略図

【その他自然災害(竜巻対策(例))】

<飛来物防護壁設置、防護ネット設置> (海水ポンプ室)

対策前



対策後



<上面>

ネットで飛来物の衝突時の衝撃を吸収

<側面>

鋼板で飛来物の貫通を阻止

風速 100m/s の竜巻を想定

【火災防護対策(例)】

<消火水バックアップタンク設置、ポンプ設置>

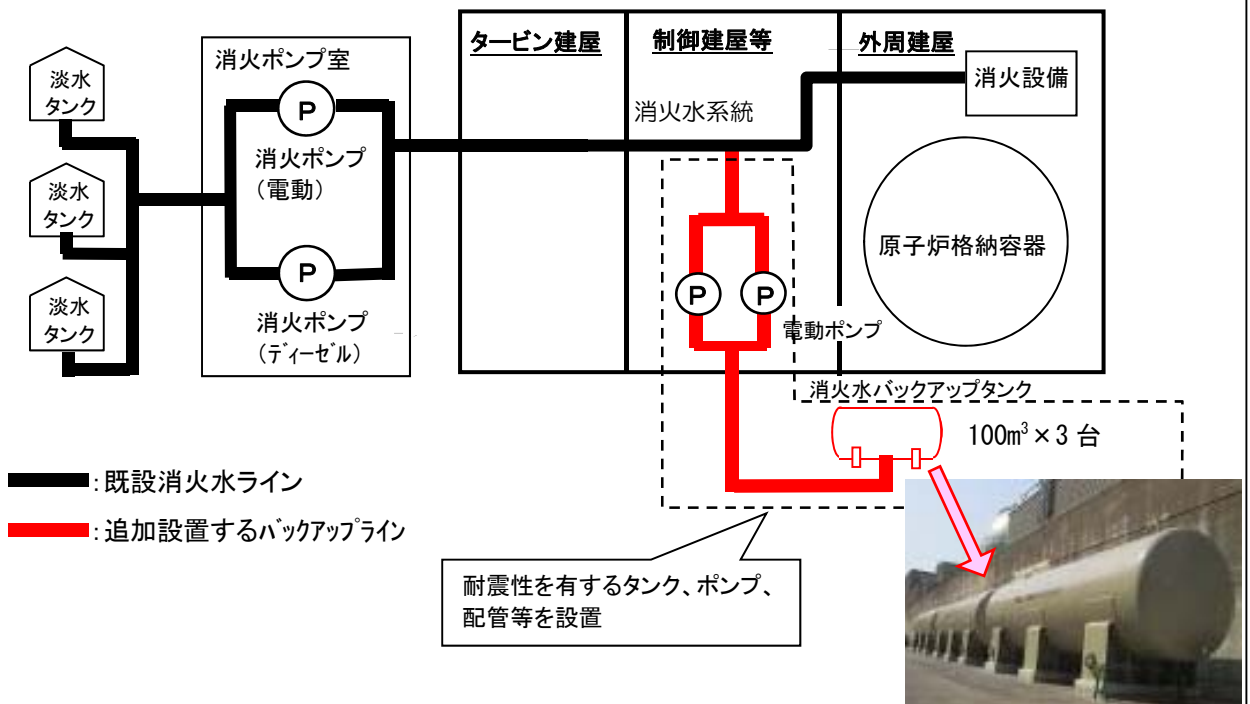


図-10 重大事故対策(電源の確保:交流電源)

【工事概要】

- ①外部電源が喪失して非常用ディーゼル発電機が起動しない場合の代替電源として空冷式非常用発電装置(2台)を設置するとともに、中央制御室から遠隔起動できるように設備を改造した。
- ②空冷式非常用発電装置からの電源供給等が期待できない場合を想定し、電源車(3台、うち1台は3、4号機共用の予備)を配備するとともに、原子炉補助建屋側面に接続口(2箇所)を設置し、電源車からの電源ケーブルを接続することで蓄電池や計器用電源等への電源供給を可能とした。
- ③既存の所内電気設備が使用できない場合を想定して、空冷式非常用発電装置から恒設代替低圧注水ポンプ等の重要機器に直接給電を可能にするため、代替所内電気設備(高圧分岐盤、分電盤、補機切替盤等)を設置した。

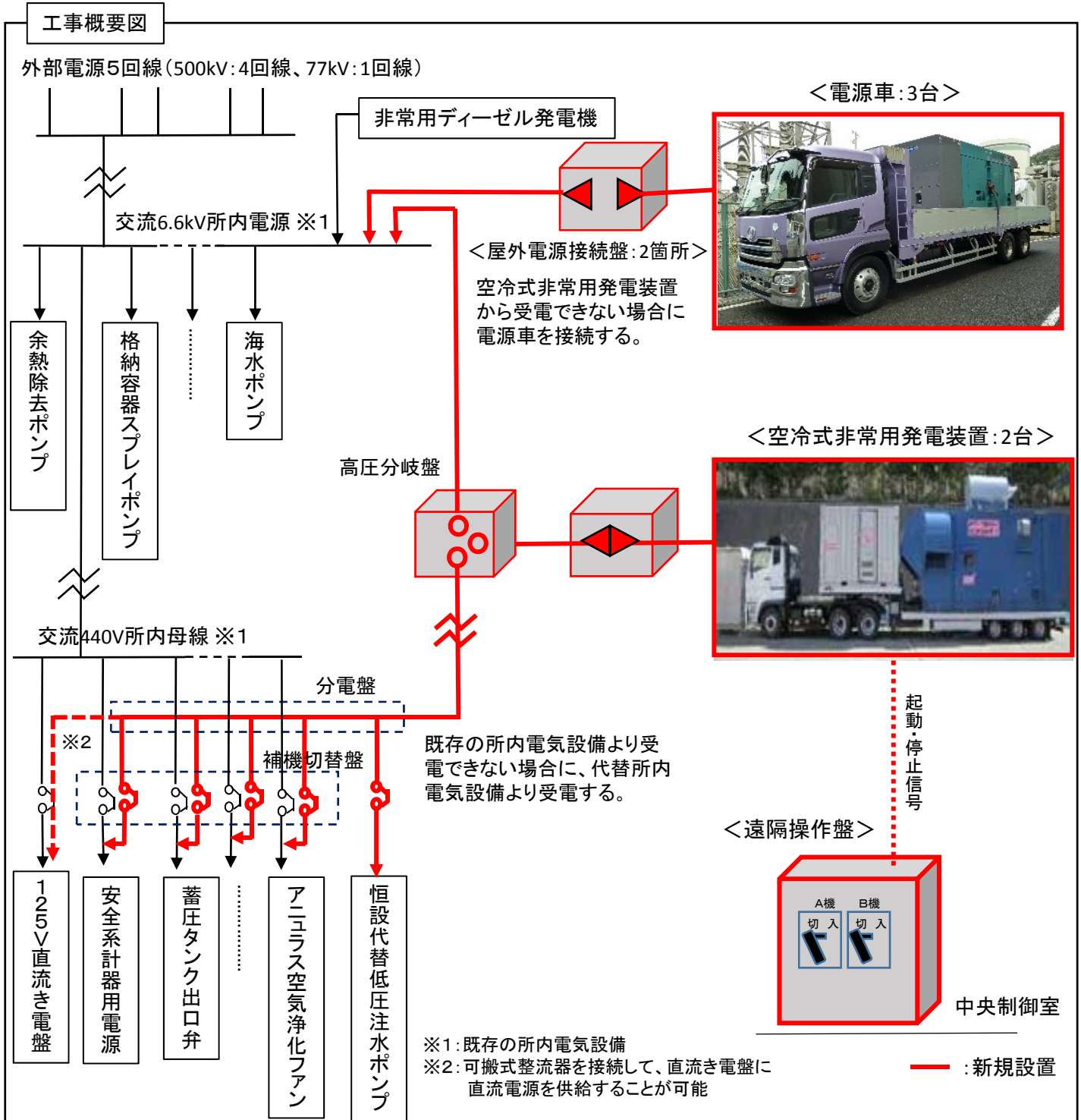


図-11 重大事故対策(電源の確保:直流電源)

【工事概要】

- ①蓄電池(2系列)について、全交流電源喪失時に原子炉の冷却等に必要の負荷に24時間以上電源供給を可能とするために容量の増強を行った。(蓄電池容量:1200→2400Ah(2系列とも))
- ②全交流電源喪失時における原子炉の冷却等に不要な負荷のうち、速やかに切り離す必要がある負荷を遠隔にて切り離すための操作盤を中央制御室に設置した。
- ③直流電源系統が機能喪失した場合を想定して、加圧器逃がし弁を作動させるための電磁弁に直流電源を供給するため、専用の可搬式バッテリーを配備した。

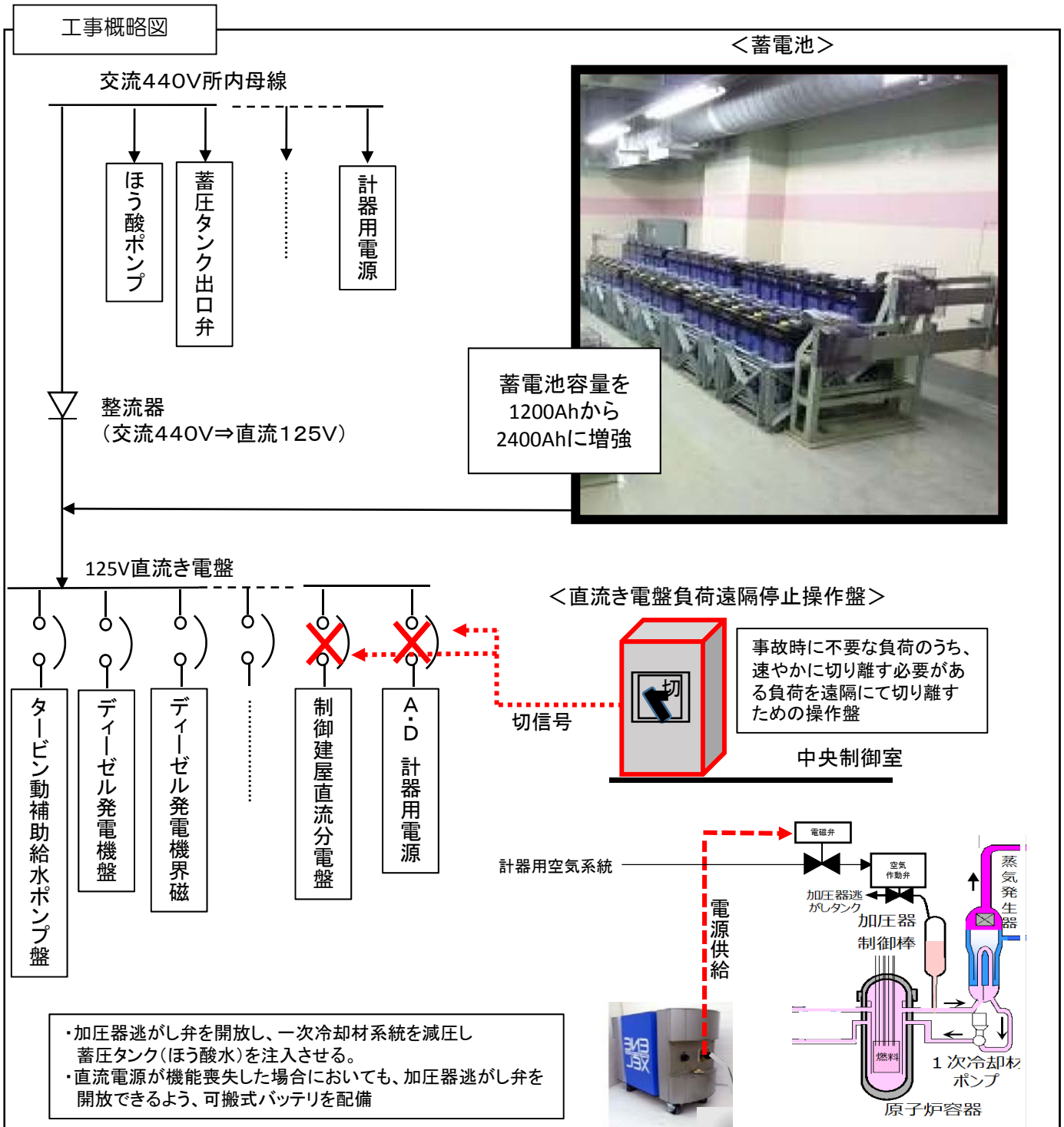


図-13 自主的対応工事等
 (使用済燃料ピットの監視強化、外部電源受電設備の浸水対策、代替水源の確保)

【工事概要】

- ①使用済燃料ピットの監視強化のため、広域水位計(電波式)を増設するとともに、監視カメラを設置した。
- ②予備変圧器から安全系母線給電ルート上に設けられているバスダクトをケーブルに取り替えるとともに、ケーブル接続部の防水処理を行った。
- ③消火水バックアップタンク等に替わる水源確保の観点から、3、4号機背後斜面の湧水排出トンネル内に湧水を堰き止めて淡水貯水槽を設置し、3、4号機共用の水源とした。

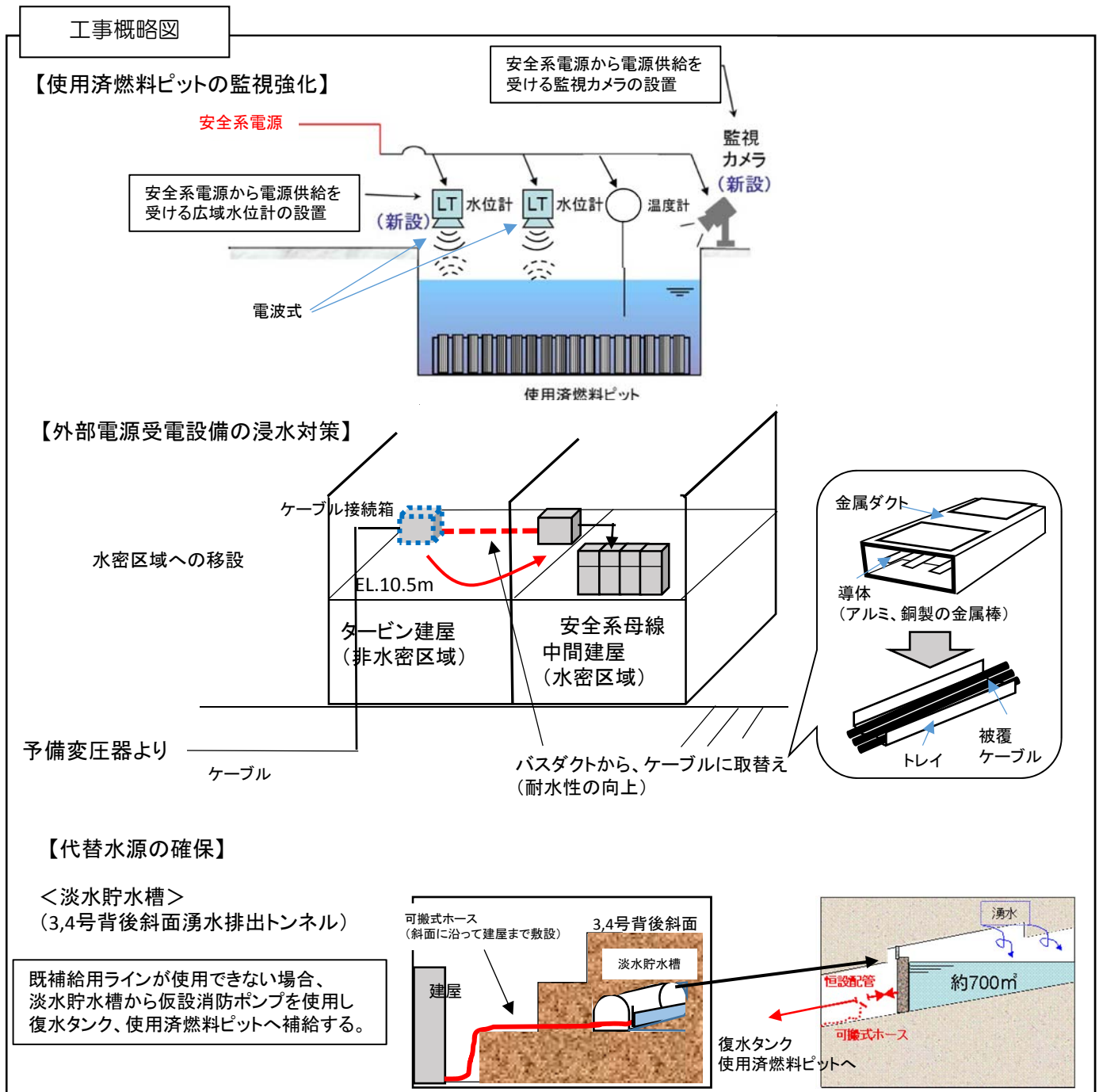


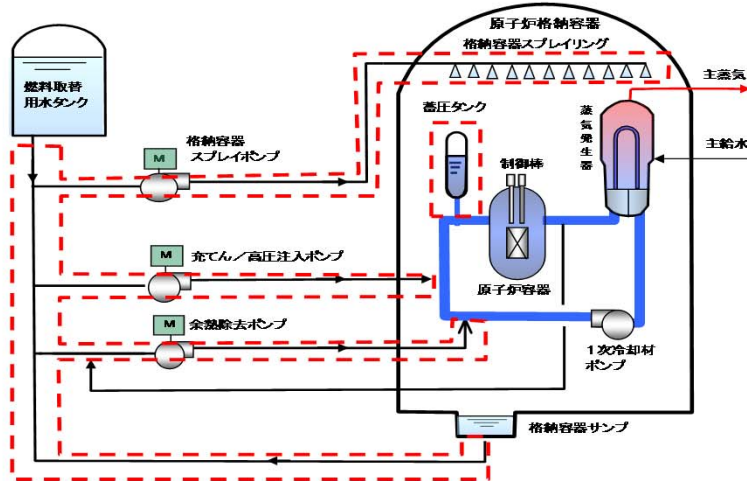
図-14 自主的対応工事等(非常用炉心冷却系統の支持構造物等の点検)

【工事概要】

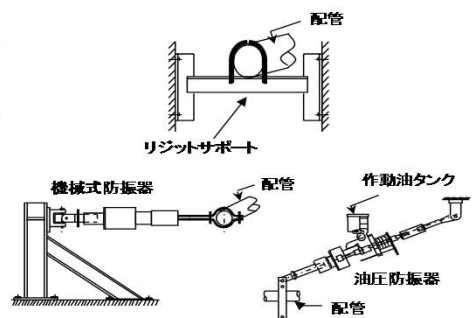
非常用炉心冷却系統に設置されている耐震サポートなどの支持構造物や屋内外タンクの基礎ボルト等について、取り付け状況等に異常のないことを確認した。

非常用炉心冷却系統の耐震サポートの総点検

非常用炉心冷却系統に設置されている支持構造物について、取付状態、干渉状態、油もれ、き裂等の異常がないことを確認した。また、支持構造物のボルト・ナットについて、緩みの無いことを確認した。



<耐震サポートの例>

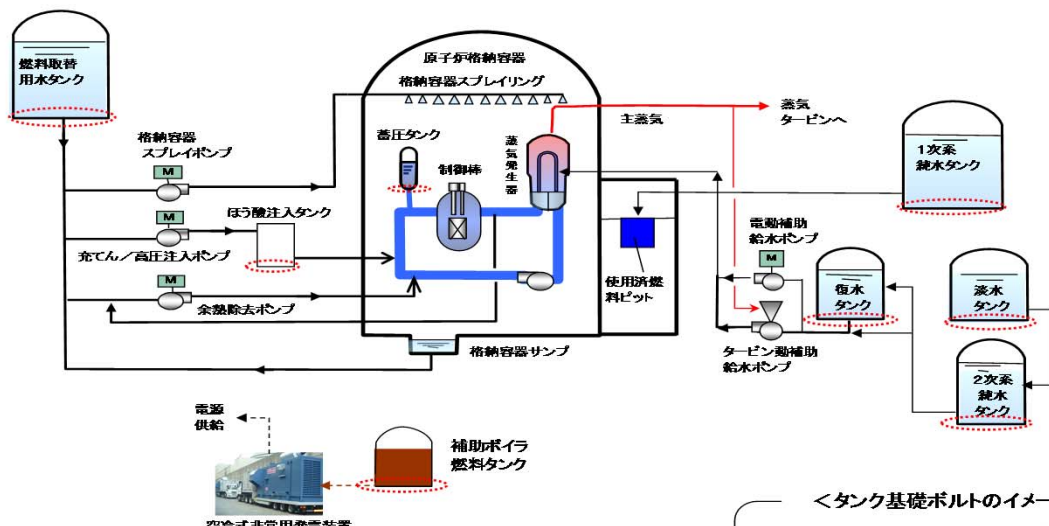


対象系統

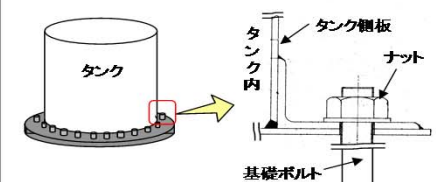
- 高圧注入系統
- 低圧注入系統
- 蓄圧注入系統
- 格納容器スプレイ系

屋内外タンクの基礎ボルト等の総点検

非常用炉心冷却系統に設置されている屋内外タンク(燃料取扱用水タンク、蓄圧タンク等)の基礎ボルト等について、緩みの無いことや、タンク基礎部の腐食・塗膜のはがれ等の異常がないことを確認した。



<タンク基礎ボルトのイメージ>



点検内容	対象機器	
基礎ボルトの緩み確認	蓄圧タンク	燃料取扱用水タンク
	ほう酸注入タンク	1次系純水タンク
	復水タンク	補助ボイラ燃料タンク(共用)
タンク基礎部の腐食・塗膜のはがれ等の確認*	2次系純水タンク(共用)	淡水タンク(共用)

*基礎ボルトがないタイプのタンク

図-15 「一次系床 dren 注意」警報の発信について

